МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE





УДК 621.9
https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-2-155-168

Научная статья



Комплексная оценка производственной технологичности изделий

П.Ю. Бочкарев[1,2] ✉, **Р.Д. Королев**[1,3], **Л.Г. Бокова**[4]

[1] Камышинский технологический институт — филиал Волгоградского государственного технического университета, г. Камышин, Российская Федерация

[2] Вавиловский университет, г. Саратов, Российская Федерация

[3] ООО «ЭКС-ФОРМА», г. Саратов, Российская Федерация

[4] Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина, г. Саратов, Российская Федерация

✉ bpy@mail.ru

Аннотация

Введение. Оценка производственной технологичности изготавливаемых изделий — этап технологической подготовки и ключевой аспект развития современных производственных механообрабатывающих систем — является актуальной задачей современного машиностроения. В этой связи теоретические и практические исследования по разработке методических подходов к определению весовой значимости количественных показателей при оценке производственной технологичности деталей являются весьма актуальными. Целью представленной работы явилась разработка метода оценки, нацеленного на повышение качества обработки деталей и эффективности функционирования многономенклатурных производственных систем на основе разработки дополнительных количественных показателей оценки производственной технологичности.

Материалы и методы. Для оценки влияния количественных производственных показателей, связанных с затратами времени при простое оборудования, создана модель прогнозирования потоков событий поступления партий деталей на изготовление на определенную операцию и потоков обработанных деталей с использованием аппарата теории массового обслуживания. Такой подход позволяет учесть, как конструкторско-технологические характеристики деталей, особенности конкретной производственной системы, так и складывающуюся производственную ситуацию.

Результаты исследования. Посредством оценки возможного влияния на составляющие при расчете штучно-калькуляционного времени ($T_{шт.к.}$) на уровне технологической операции была определена степень влияния показателей технологичности. Установлены взаимосвязи между показателями технологичности и затратами по всем статьям технологической себестоимости обработки заготовки ($C_{ОП}$), а также затратами, связанными с организационными простоями оборудования ($C_{пр.о.i}$). С помощью применения аппарата парных сравнений при принятии решений применительно ко всем структурным элементам производственных затрат определена степень влияния показателей технологичности относительно других показателей.

Обсуждение и заключение. Описан подход к выполнению данной проектной процедуры, позволяющий учитывать состав и возможности технологического оборудования конкретного производства и реально складывающуюся производственную ситуацию. Разработанные формализованные модели позволяют комплексно спрогнозировать влияние показателей технологичности деталей на эффективность функционирования механообрабатывающих систем при их изготовлении.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, оценка технологичности изделий, количественные показатели производственной технологичности, механообрабатывающие производственные системы, эффективность функционирования производства

Благодарности: авторы выражают благодарность редакции и рецензенту за внимательное отношение к статье и высказанные предложения, которые позволили повысить ее качество.

Для цитирования. Бочкарев П.Ю. Королев Р.Д., Бокова Л.Г. Комплексная оценка производственной технологичности изделий. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don).* 2023;23(2):155–168. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-2-155-168

Original article

Comprehensive Assessment of the Manufacturability of Products

Peter Yu. Bochkaryov[1, 2] ✉, **Richard D. Korolev**[1, 3], **Larisa G. Bokova**[4]

[1] Kamyshin Technological Institute, VSTU branch, Kamyshin, Russian Federation
[2] Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russian Federation
[3] OOO PCF "Ex-Form", Saratov, Russian Federation
[4] Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation
✉ bpy@mail.ru

Abstract

Introduction. The assessment of the manufacturability of products – as a stage of production planning and a key aspect of the development of modern industrial machining systems — is an urgent task of modern mechanical engineering. In this regard, theoretical and practical research on the development of methodological approaches to determining the weight significance of quantitative indicators in assessing the manufacturability of parts is highly relevant. The objective of the presented work was to develop an evaluation method aimed at improving the quality of part processing and the effectiveness of the performance of multiproduct manufacturing systems based on the development of additional quantitative indicators for assessing production manufacturability.

Materials and Methods. To assess the impact of quantitative production indicators associated with time spent during equipment downtime, a model was created. It was aimed at predicting event flows of delivery of batches of parts for manufacturing for a specific operation and flows of processed parts using the queuing theory apparatus. This approach makes it possible to take into account both the design-engineering characteristics of parts, the features of a particular production system, and the emerging manufacturing situation.

Results. The degree of influence of the manufacturability indicators at the level of the process operation was determined by assessing the possible impact on the components when calculating piece-calculation time ($T_{шт.к.}$). The interrelations between the manufacturability indicators and expenses for all items of the production cost of part processing ($C_{ОП}$), as well as costs associated with organizational downtime of equipment ($C_{пр.о.i}$) were established. The degree of influence of the indicators of manufacturability relative to other indicators was determined by using the apparatus of paired comparisons in decision-making in relation to all structural elements of production costs.

Discussion and Conclusion. The approach to the implementation of this design procedure was described, which provided taking into account the composition and capabilities of processing equipment of a particular production and the actual production situation. The developed formalized models make it possible to comprehensively predict the impact of the manufacturability indicators of parts on the performance effectiveness of machining systems during their manufacture.

Keywords: production planning, product manufacturability assessment, quantitative indicators of manufacturability, machining production systems, production efficiency

Acknowledgements: the authors would like to thank the editorial board of the journal and the reviewer for attentive attitude to the article and suggestions made that helped to improve its quality.

For citation. Bochkaryov PYu, Korolev RD, Bokova LG. Comprehensive Assessment of the Manufacturability of Products. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don).* 2023;23(2): 155–168. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-2-155-168

Введение. Развитие машиностроительного производства в современных условиях невозможно без серьезного наращивания научных исследований, связанных с разработкой теории и методических принципов формализации всех этапов производства изделий, являющихся основой будущих интеллектуальных систем поддержки создания и изготовления технических объектов. Наиболее сложными в этом аспекте выступают задачи конструкторской и технологической подготовки производства [1, 2]. Несмотря на многочисленные работы в данном направлении, до настоящего времени не созданы автоматизированные системы, позволяющие взять на себя даже незначительные функциональные действия конструкторов и технологов, связанные с выполнением творческих проектных решений.

Обязательным условием технологической подготовки эффективного функционирования механообрабатывающих систем является мониторинг и анализ складывающейся производственной ситуации, а также информации о состоянии оборудования и средствах технологического обеспечения. Только обладая в

полной мере этими сведениями можно принимать рациональные производственные решения. Даже опытный технолог не в состоянии собрать и проанализировать такой большой объем информации. Поэтому решения принимаются зачастую субъективно и необоснованно, проектирование технологических процессов и их реализация разнесены во времени, а использование вычислительных систем тормозится отсутствием моделей, описывающих процесс технологической подготовки производства.

Решению поставленных задач посвящены научно-исследовательские работы по созданию системы планирования многономенклатурных технологических процессов [3], в основе которых лежит концептуальный подход к формализации всех проектных процедур обеспечения технологической подготовки механообрабатывающих производств, позволяющих учесть конкретные особенности, технологические возможности оборудования и оснастки. Одной из таких проектных процедур является оценка обеспечения технологичности изделий, чему традиционно уделяется недостаточно внимания. Роль данного этапа существенно недооценена.

Все технико-экономические показатели функционирования производственной системы определяются сложностью выпускаемой продукции и степенью оснащенностью производственных мощностей. Часто имеет место несогласованность этих двух показателей, что приводит к невозможности обеспечения требований к качеству выпускаемой продукции, простоям и нерациональному использованию оборудования. Именно при оценке технологичности изделий, наряду с известными задачами и методами их решения, должны быть получены объективные данные о целесообразности изготовления изделий в условиях конкретной производственной системы.

Материалы и методы. Большое значение имеют научные исследования в области создания формализованных моделей установления связей между технологическими и конструкторскими задачами подготовки производственных машиностроительных систем. В связи с увеличивающимся мировым соперничеством в производственной сфере, первоочередной задачей является повышение эффективной работы оборудования при реализации технологических процессов с учетом соответствия заданных требований к качеству деталей, которые, в свою очередь, устанавливаются в процессе конструирования.

Вопросы, поставленные современными условиями функционирования производственных комплексов, связаны с обеспечением производственной технологичности изготавливаемых изделий. В настоящее время методы оценки технологичности изготавливаемых изделий, с учетом необходимости соответствия требованиям стандартов, напрямую зависят от квалификации технолога (конструктора) и их знаний. Такой подход не гарантирует рационального принятия технических решений и сдерживает автоматизацию проектных процедур.

Оценка технологичности, как этап подготовки производства, выполняется для установления взаимосвязи между затратами на изготовление изделия и его конструктивными особенностями. Результаты такой оценки зачастую имеют противоречивый характер, отсутствует полноценное математическое описание процедуры ее проведения.

Для разрешения сложившейся ситуации целесообразным представляется реализация на практике следующих шагов [4–6]:

– установление относительных весовых характеристик показателей технологичности на основе параметров изготовляемых изделий. Труднореализуемым, но первостепенным является решение этой задачи на стадиях разработки рабочей конструкторской документации, когда отсутствуют технологические решения по изготовлению;

– развитие существующей номенклатуры количественных показателей для выполнения процедуры оценки производственной технологичности, которые позволяют учесть специфические подходы к подготовке производства для конкретных производственных комплексов.

При создании методического обеспечения проектной процедуры оценки технологичности изделий необходимо учитывать, что оно должно основываться на обширной конструкторско-технологической базе данных с учетом ее структуры и взаимосвязей между элементами моделей, используемых при проектировании и реализации технологических процессов. Система планирования многономенклатурных технологических процессов отвечает этим требованиям и позволяет, наряду с возможностью проведения оценки известных и применяемых в производстве количественных показателей, предложить новые [7].

В соответствии с принципами, заложенными при создании системы планирования технологических процессов, основным критерием эффективности является время работы производственной системы по изготовлению всего комплекта изделий. Оно включает все затраты производственного цикла и напрямую связано с себестоимостью производства деталей. Базируясь на этом положении, авторами предложен подход, позволяющий на основе установления взаимосвязей между элементами, входящими в оценку себестоимости

изготовления деталей, и количественными показателями производственной технологичности дать заключение о значимости данных показателей для конкретных производственных условий.

Результаты исследования. Последовательность реализации разработанного подхода включает в себя несколько проектных процедур, реализация которых позволяет учесть, как конструктивные особенности обрабатываемых деталей, так и организационно-технологические особенности производственной системы, учитывающие состав и технологические возможности оборудования, а также специфику программы выпускаемых изделий.

Первоначально на уровне технологической операции была установлена степень влияния показателей технологичности посредством оценки возможного влияния на составляющие при расчете штучно-калькуляционного времени ($T_{шт.к.}$). На рис. 1 представлена детализация структуры ($T_{шт.к.}$) для токарной операции, используя которую был проведен анализ и установлены возможности влияния производственных показателей технологичности на каждое отдельное значение в расчетах ($T_{шт.к.}$). Аналогичные исследования, позволившие установить аналитические зависимости между количественными показателями производственной технологичности и структурными элементами технологических операций, были выполнены для других групп технологического оборудования.

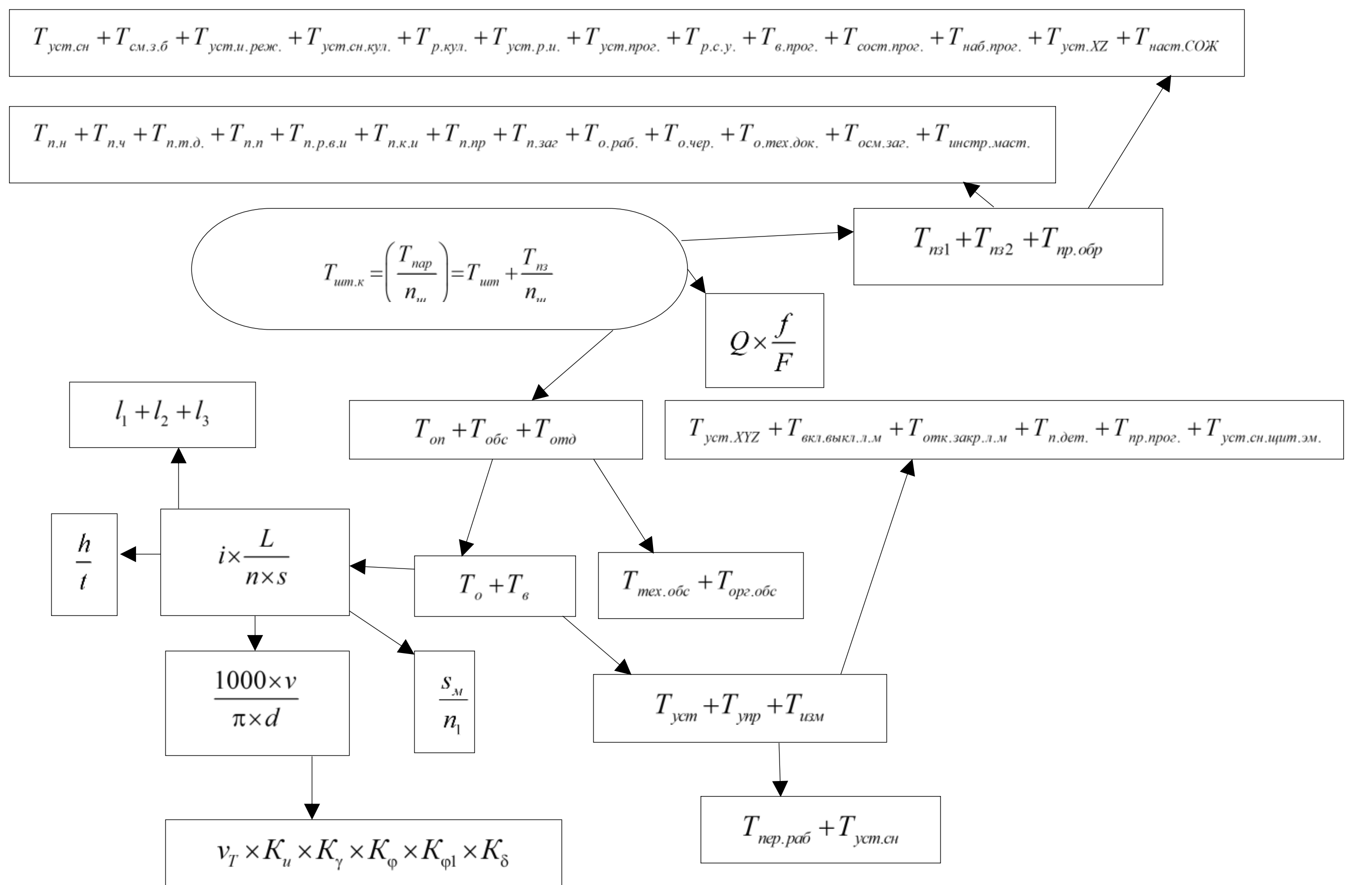


Рис. 1. Структурная схема $T_{шт.к.}$ при точении

Установлены взаимосвязи между показателями технологичности и затратами по всем статьям технологической себестоимости обработки заготовки $C_{ОП}$ (рис. 2), а также затратами, связанными с организационными простоями оборудования $C_{пр.о.i.}$ (рис. 3).

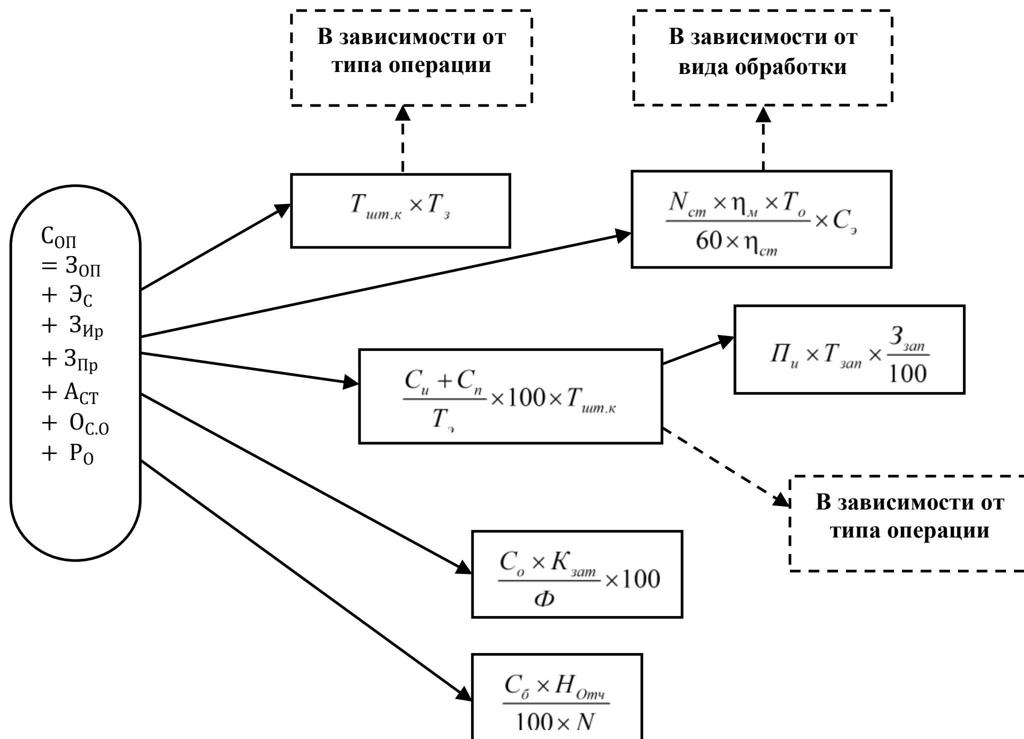


Рис. 2. Составные части $C_{ОП}$ — затраты по всем статьям технологической себестоимости обработки заготовки

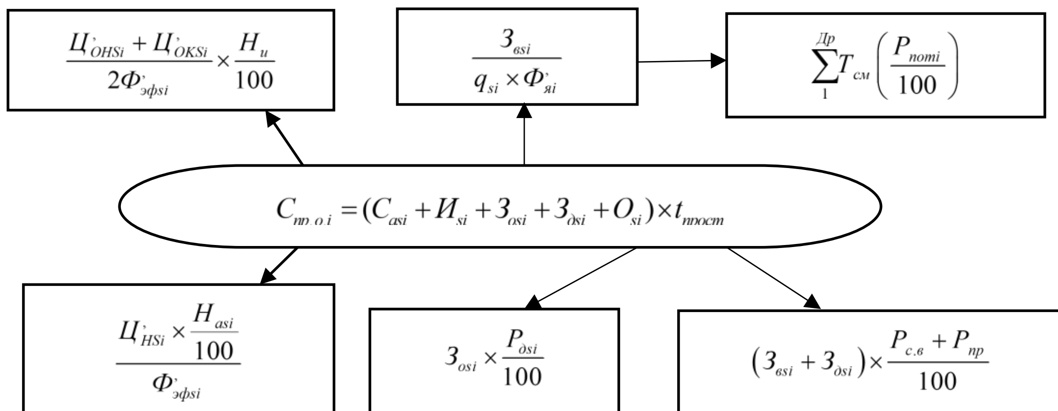


Рис. 3. Затраты, связанные с организационными простоями технологического оборудования $C_{пр.о.i.}$

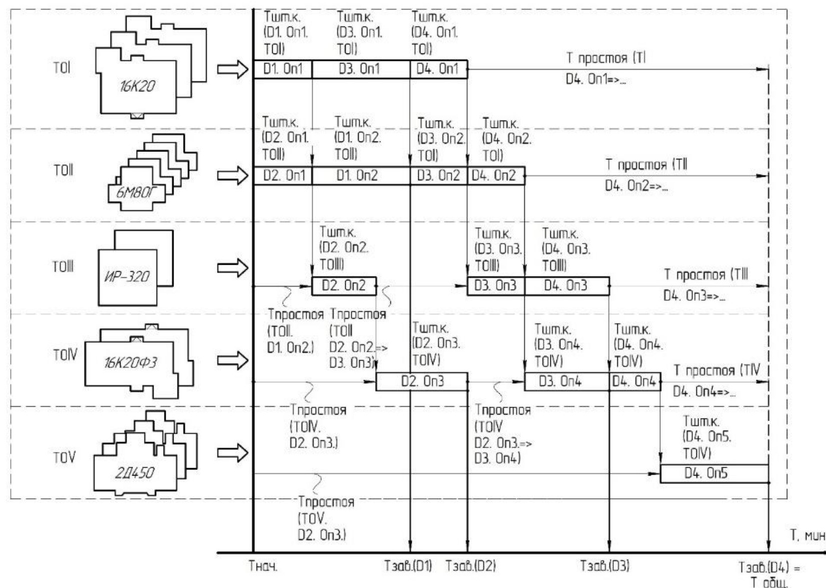


Рис. 4. Диаграмма Ганта реализации технологических процессов

Машиностроение и машиноведение

Для оценки влияния количественных производственных показателей, связанных с затратами времени оборудования при простое, создана модель прогнозирования потоков событий поступления партий деталей на изготовление на определенную операцию и потоков обработанных деталей с использованием аппарата теории массового обслуживания. Данный методический подход использован в системе планирования технологических процессов [8, 9]. В качестве примера на рис. 4 представлены результаты в виде диаграммы Ганта. Такой подход позволяет учесть конструкторско-технологические характеристики деталей, особенности конкретной производственной системы и складывающуюся производственную ситуацию.

На рис. 5 представлена укрупненная схема структуры для определения затрат производства при изготовлении деталей, использованная для оценки удельного веса количественных показателей оценки технологичности в системе планирования технологических процессов. Выполнен анализ возможности влияния каждого показателя на эффективность функционирования всей производственной системы при изготовлении партии заданных деталей для конкретных производственных условий.

Результаты представленного анализа и установленные взаимосвязи между показателями технологичности и эффективностью работы механообрабатывающих систем позволили перейти к решению вопроса об установлении значимости количественных показателей производственной технологичности. Представленный фрагмент (рис. 6) содержит в реляционной форме информацию о вышеперечисленных связях и дополнен сведениями об удельном весе элементов затрат (в процентах). Данные получены на основе статистической обработки результатов функционирования реальной производственной системы. В случае отсутствия такого рода сведений имеется возможность использовать общемашиностроительные или отраслевые.



Рис. 5. Укрупненная схема для определения затрат производства

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Показатели технологичности						
										11	12	13	14	15	16	17
										Показатель обрабатываемости материала	Показатель сложности конструкции детали	Коэффициент точности и шероховатости поверхностей детали	Показатель унификации конструктивных элементов	Показатель использования материала	Показатель возможности изготовления заданной номенклатуры деталей	Показатель использования технологических возможностей производственных систем
3	СОП (78 %)	ЗОП (32 %)	Тшт.к. (29 %)	Тшт (25 %)	Топ (22 %)	То (14 %)	n	*v*	v_T	+	+	+	+	+	+	+
									K_u	+	+	+	+	+	+	+
									K_γ	+	+	+	+	+	+	+
									K_φ	+	+	+	+	+	+	+
									$K_{\varphi 1}$	+	+	+	+	+	+	+
								d	–	+	+	+	+	+	+	+
								π	–	+	+	+	+	+	+	+

Рис. 6. Фрагмент влияния количественных показателей производственной технологичности на составляющие затрат

Для установления весовой значимости показателей производственной технологичности остается только решение задачи, заключающейся в определении их влияния непосредственно на каждый элемент в представленной структуре производственных затрат. Решение данной задачи выполнено с привлечением аппарата парных сравнений при принятии решений (итеративный процесс Бержа [10]). Данный метод позволил определить степень влияния показателей технологичности относительно других показателей применительно ко всем структурным элементам производственных затрат. В таблице 1 представлено в качестве примера попарное сравнение показателей технологичности относительно основного времени (*То*).

Таблица 1

Попарное сравнение показателей технологичности относительно основного времени (*То*)

То (14 %)														
Оцениваемые показатели	11	12	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23	Итого	Весовые показатели
11	–	2	2	1	0	0	0	1	2	1	2	2	13	0,098485
12	0	–	1	0	0	2	0	0	1	1	2	2	9	0,068182
13	0	1	–	0	1	1	0	0	2	2	0	0	7	0,05303
14	1	2	2	–	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0,098485
15	2	2	2	1	–	1	1	1	1	1	2	2	16	0,121212
16	2	2	1	1	0	–	0	0	1	1	0	0	8	0,060606
17	2	0	1	1	1	1	–	1	1	1	0	0	9	0,068182
19	0	2	2	1	1	2	2	–	1	1	0	0	12	0,090909
20	0	2	0	1	1	1	1	1	–	1	1	1	10	0,075758
21	1	1	0	1	1	1	1	1	1	–	1	1	10	0,075758
22	0	0	2	1	2	2	2	1	1	1	–	1	13	0,098485
23	0	0	2	1	0	2	2	2	1	1	1	–	12	0,090909
												Сумма	132	1

Промышленная проверка и апробация разработанных моделей выполнялась в условиях ООО «ГАЗПРОММАШ», специализирующегося на серийном выпуске подогревателей газа прямого действия с промежуточным теплоносителем и модифицированного ряда станций, регуляторов, блоков фильтров и клапанов,

кранов высокого давление. Исходными данными для проведения экспериментов являлись: сформированная и заполненная база данных, содержащая информацию по технологическим возможностям оборудования (производственное подразделение № 1), информация по реальному состоянию и технико-экономические характеристики функционирования участка (таблицы 2–6), программа изготавливаемых деталей (чертежи отдельных деталей представлены на рис. 7, 8).

Таблица 2

Соотношение составляющих производственных затрат
(участок №1 ООО «ГАЗПРОММАШ»)

<table>
<tr><td colspan="11">$З_{\text{Общ.}}$ = 5682 (100 %)</td></tr>
<tr><td colspan="5">$C_{ОП}$ = 4662 руб. (78 %)</td><td colspan="6">$C_{пр.о.i}$ = 1020 руб. (22 %)</td></tr>
<tr><td>$З_{ОП}$ 1872 руб. (32 %)</td><td>$Э_{С}$ 710 руб. (14 %)</td><td>$З_{И.Р}$ 534 руб. (6 %)</td><td>$З_{Пр}$ 4 руб. (0,1 %)</td><td>$А_{СТ}$ 1545 руб. (26 %)</td><td>$И_{si}$ 4 руб. (0,1 %)</td><td>C_{asi} 3806 руб. (2 %)</td><td>$З_{osi}$ 12500 руб. (5 %)</td><td>$З_{дsi}$ 3125 руб. (1,9 %)</td><td>O_{si} 21250 руб. (11 %)</td><td>$t_{пр.i}$ (2 %)</td></tr>
</table>

Таблица 3

Затраты, связанные с заработной платой рабочего за выполнение операции

<table>
<tr><td colspan="8">$З_{ОП}$ = 1872 руб. (32 %)</td></tr>
<tr><td colspan="7">$T_{шт.к}$ (29 %)</td><td>$T_{з}$ (3 %)</td></tr>
<tr><td colspan="4">$T_{шт}$ (25 %)</td><td colspan="3">$T_{п.з.}$ (4 %)</td><td>–</td></tr>
<tr><td>$T_{оп}$ (22 %)</td><td colspan="2">$T_{обс}$ (2 %)</td><td>–</td><td>$T_{п.з.1}$ (1,5 %)</td><td>$T_{п.з.2}$ (1 %)</td><td>$T_{пр}$ (0,5 %)</td><td>–</td></tr>
<tr><td>См. табл.9</td><td>$T_{тех.обс}$ (1,0 %)</td><td>–</td><td>–</td><td>См. табл.8</td><td>См. табл. 9</td><td>–</td><td>–</td></tr>
</table>

Таблица 4

Затраты, связанные с изготовлением изделия

<table>
<tr><td colspan="12">$T_{оп}$ (22 %)</td></tr>
<tr><td>$T_{о}$ (14 %)</td><td colspan="9">$T_{в}$ (8 %)</td><td>$T_{тех.обс}$ (1 %)</td><td>$T_{орг.об}$ (2 %)</td></tr>
<tr><td>–</td><td colspan="2">$T_{уст}$ (4 %)</td><td colspan="6">$T_{упр}$ (3 %)</td><td>$T_{изм}$ (1 %)</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td>–</td><td>$T_{пер.раб}$ (2 %)</td><td>$T_{уст.сн}$ (2 %)</td><td>$T_{уст.\ XYZ}$ (0,5 %)</td><td>$T_{вк.\ Выкл.л.м}$ (0,5 %)</td><td>$T_{отк.\ закр.л.м}$ (0,5 %)</td><td>$T_{п.\ дет}$ (0,5 %)</td><td>$T_{пр.про}$ (0,5 %)</td><td>$T_{уст.сн.щит.эм}$ (0,5 %)</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td></tr>
</table>

Таблица 5

Затраты, связанные с организационной подготовкой

$T_{п.з.1}$ (1,5 %)												
$T_{п.н}$ (0,2 %)	$T_{п.ч}$ (0,2 %)	$T_{п.т.д}$ (0,1 %)	$T_{п.п}$ (0,1 %)	$T_{п.р.в.и}$ (0,1 %)	$T_{п.к.и}$ (0,1 %)	$T_{п.пр}$ (0,1 %)	$T_{п.заг}$ (0,1 %)	$T_{о.раб.}$ (0,1 %)	$T_{о.чер.}$ (0,1 %)	$T_{о.тех.док}$ (0,1 %)	$T_{осм.заг}$ (0,1 %)	$T_{инст.маст.}$ (0,1 %)

Таблица 6

Затраты, связанные с наладкой станка

$T_{п.з.2}$ (1,0%)												
$T_{ус.сн}$ (0,1 %)	$T_{см.з.б.}$ (0,1 %)	$T_{уст.и.реж.}$ (0,1 %)	$T_{уст.сн.кул}$ (0,1 %)	$T_{р.кул}$ (0,1 %)	$T_{уст.р.и}$ (0,1 %)	$T_{уст.прог}$ (0,05 %)	$T_{р.с.у}$ (0,05 %)	$T_{в.прог}$ (0,05 %)	$T_{сост.прог}$ (0,1 %)	$T_{наб.прог}$ (0,05 %)	$T_{уст.XZ}$ (0,05 %)	$T_{наст.СОЖ}$ (0,05 %)



Рис. 7. Пример конструкторского чертежа обрабатываемой детали: корпус



Рис. 8. Пример конструкторского чертежа обрабатываемой детали: фланец

Результаты расчетов степени относительного влияния количественных показателей производственной технологичности деталей на отдельные структурные элементы производственных затрат (участок №1 ООО «ГАЗПРОММАШ») представлены в таблицах 7–10.

Таблица 7

Влияние количественных показателей производственной технологичности
То (основное (технологическое) время на изготовление или обработку единицы продукции)

Оцениваемые показатели	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	Итого	Весовые показатели
1.1	–	2	2	1	0	0	0	1	2	1	2	2	13	0,098485
1.2	0	–	1	0	0	2	0	0	1	1	2	2	9	0,068182
1.3	0	1	–	0	1	1	0	0	2	2	0	0	7	0,05303
1.4	1	2	2	–	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0,098485
1.5	2	2	2	1	–	1	1	1	1	1	2	2	16	0,121212
1.6	2	2	1	1	0	–	0	0	1	1	0	0	8	0,060606
1.7	2	0	1	1	1	1	–	1	1	1	0	0	9	0,068182
1.9	0	2	2	1	1	2	2	–	1	1	0	0	12	0,090909
1.10	0	2	0	1	1	1	1	1	–	1	1	1	10	0,075758
1.11	1	1	0	1	1	1	1	1	1	–	1	1	10	0,075758
1.12	0	0	2	1	2	2	2	1	1	1	–	1	13	0,098485
1.13	0	0	2	1	0	2	2	2	1	1	1	–	12	0,090909

Таблица 8

Влияние количественных показателей производственной технологичности
Тупр (время на подвод инструмента к заготовке)

Оцениваемые показатели	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	Итого	Весовые показатели
1.1	–	2	2	0	1	1	2	2	2	2	2	2	18	0,136364
1.2	0	–	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7	0,05303
1.3	0	2	–	2	1	1	1	1	1	2	2	2	15	0,113636
1.4	2	2	0	–	0	1	1	1	1	1	0	0	9	0,068182
1.5	1	2	1	2	–	2	2	1	2	2	2	2	19	0,143939
1.6	1	1	1	1	0	–	1	1	1	1	1	1	10	0,075758
1.7	0	1	1	1	0	1	–	1	1	1	1	1	9	0,068182
1.9	0	1	1	1	1	1	1	–	2	2	2	2	14	0,106061
1.10	0	1	1	1	0	1	1	0	–	1	2	2	10	0,075758
1.11	0	1	0	1	0	1	1	0	1	–	2	2	9	0,068182
1.12	0	1	0	2	0	1	1	0	0	0	–	1	6	0,045455
1.13	0	1	0	2	0	1	1	0	0	0	1	–	6	0,045455

Таблица 9

Влияние количественных показателей производственной технологичности
Тп.з.1 (норма времени на организационную подготовку)

Оцениваемые показатели	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	Итого	Весовые показатели
1.1	–	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	21	0,135484
1.2	0	–	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,006452
1.3	0	2	–	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	0,064516

Оцениваемые показатели	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	Итого	Весовые показатели
1.4	1	1	1	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,019355
1.5	1	2	1	0	–	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,129032
1.6	1	2	1	2	0	–	2	2	2	2	2	1	1	18	0,116129
1.7	0	2	1	2	0	0	–	1	1	1	1	1	1	11	0,070968
1.8	0	2	1	2	0	0	1	–	1	1	1	1	1	11	0,070968
1.9	0	2	1	2	0	0	1	1	–	1	1	1	1	11	0,070968
1.10	0	2	1	2	0	0	1	1	1	–	1	1	1	11	0,070968
1.11	0	2	1	2	0	0	1	1	1	1	–	1	1	11	0,070968
1.12	0	2	2	2	0	1	1	1	1	1	1	–	1	13	0,083871
1.13	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	–	14	0,090323

Таблица 10

Влияние количественных показателей производственной технологичности *Аст* (затраты, связанные с использованием технологического оборудования)

Оцениваемые показатели	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	Итого	Весовые показатели
1.8	–	1	1	2	1	1	6	0,2
1.9	1	–	2	1	1	1	6	0,2
1.10	1	0	–	0	0	0	1	0,033333
1.11	0	1	2	–	1	1	5	0,166667
1.12	1	1	2	1	–	1	6	0,2
1.13	1	1	2	1	1	–	6	0,2

1.1 — показатель обрабатываемости материала;

1.2 — показатель сложности конструкции детали;

1.3 — коэффициент точности и шероховатости поверхностей детали;

1.4 — показатель унификации конструктивных элементов;

1.5 — показатель использования материала;

1.6 — показатель возможности изготовления заданной номенклатуры деталей;

1.7 — показатель использования технологических возможностей производственных систем;

1.8 — показатель технологичности детали по однородности технологического оборудования;

1.9 — показатель прогнозирования уровня загрузки технологического оборудования при обработке заданной номенклатуры деталей;

1.10 — показатель многовариантности принятия решений при проектировании технологического процесса;

1.11 — показатель многовариантности принятия решений при реализации технологических процессов;

1.12 — показатель производственной технологичности детали, отражающий возможность соблюдения принципа единства баз при разработке технологического процесса в части поверхности детали, являющейся основной конструкторской базой;

1.13 — показатель производственной технологичности детали, отражающий возможность соблюдения принципа единства баз при разработке технологического процесса в части поверхностей деталей, являющихся вспомогательными конструкторскими базами.

На основе представленных моделей и ранее известных зависимостей расчета количественных показателей была проведена оценка производственной технологичности деталей. При этом было использовано разработанное и зарегистрированное авторами программное обеспечение. Таким образом, с учетом информации о реальном состоянии производственной системы проведена корректировка конструкторской документации, номенклатуры, последовательности реализации изготовления отдельных групп деталей и планирование технологической подготовки производства. Сравнительный анализ результатов расчетов представлен в таблице 11.

Таблица 11

Сравнительный анализ результатов

№		1 вариант	2 вариант	Эффективность
1	Общее время на изготовление изделий 20 наименований с годовой программой выпуска 16 600 шт.	61193,42 ч	53073,35 ч	15 %
2	Расчетное количество оборудования, участвующее в ТП	23	17	35 %
3	Коэффициент загрузки оборудования	0,67	0,72	7 %

Обсуждение и заключение. Результаты представленных теоретических исследований и их апробация в условиях реального производства позволили предложить метод оценки производственной технологичности деталей. Он позволяет провести комплексную оценку на основе разработанных аналитических зависимостей определения весовых коэффициентов, определяющих значимость каждого показателя технологичности с позиции эффективности функционирования механообрабатывающей системы. Отличительной особенностью и научной новизной работы является учет реально складывающейся производственной ситуации при оценке технологичности. Это позволяет использовать данную проектную процедуру не только традиционно на начальных стадиях технологической подготовки производства, но и на этапах реализации технологических процессов с целью рациональной организации производства.

Созданные формализованные модели создают основу для полной последовательной автоматизации проектных действий при выполнении оценки технологичности изделий и обеспечивают предпосылки для создания перспективной интеллектуальной системы прогнозирования рациональности изготовления деталей на конкретном производстве и принятия обоснованных организационных и технологических решений.

Список литературы

1. Базров Б.М. *Основы технологии машиностроения.* Москва: Машиностроение; 2005. 736 с. URL: https://studizba.com/files/show/djvu/1875-1-bazrov-b-m--osnovy-tehnologii.html (дата обращения: 12.04.2023).

2. Суслов А.Г. *Технология машиностроения*. Москва: Кнорус; 2013. 336 с.

3. Бочкарев П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки. *Технология машиностроения.* 2002;1:10–14.

4. Базров Б.М. Обеспечение технологичности конструкции изделия. *Наукоемкие технологии в машиностроении.* 2020;8:18–22. https://doi.org/10.30987/2223-4608-2020-8-18-22

5. Вартанов М.В., Чушенков И.И. Методология оценки технологичности изделий машиностроения. *Станкоинструмент.* 2019;2(015):14–23. https://doi.org/10.22184/2499-9407.2019.15.02.14.22

6. Базров Б.М., Троицкий А.А. Система коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия. *Станкоинструмент*. 2020;3:22–26.

7. Бокова Л.Г., Бочкарев П.Ю. Разработка показателей для оценки производственной технологичности деталей в системе планирования технологических процессов механообработки. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета.* 2015;1(3):29–35. https://doi.org/10.18323/2073-5073-2015-3-29-35

8. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю., Бокова Л.Г. Автоматизация оценки производственной технологичности изделия в условиях многономенклатурных производственных систем. *Наукоемкие технология в машиностроении.* 2014;9(39):45–48.

9. Иванов А.А., Бочкарев П.Ю. Формализация описания и метода поиска оптимальной реализации технологических процессов механообработки в системе планирования технологических процессов. *Вестник Саратовского государственного технического университета.* 2015;3(80):76–85. URL: http://lib.sstu.ru/doc/ibo/vestniki/2015/3(80)_2015.pdf (дата обращения: 25.03.2023).

10. Растегаев Е.В. Показатели оценки технологичности конструкции изделия для мелкосерийного и среднесерийного производства. *Вестник Рыбинского государственного авиационного технологического университета им. П. А. Соловьева*. 2021;1(56):32–36.

References

1. Bazrov BM. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya*. Moscow: Mashinostroenie; 2005. 736 p. URL: https://studizba.com/files/show/djvu/1875-1-bazrov-b-m--osnovy-tehnologii.html (accessed: 12.04.2023) (In Russ.).

2. Suslov AG. *Tekhnologiya mashinostroeniya*. Moscow: Knorus; 2013. 336 p. (In Russ.)

3. Bochkarev PYu. Sistemnoe predstavlenie planirovaniya tekhnologicheskikh protsessov mekhanoobrabotki. *Tekhnologiya Mashinostroeniya*. 2002;1:10–14. (In Russ.).

4. Bazrov BM. Obespechenie tekhnologichnosti konstruktsii izdeliya. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2020;8(110):18–22. https://doi.org/10.30987/2223-4608-2020-8-18-22 (In Russ.).

5. Vartanov MV, Chushenkov II. Methodology for Evaluating the Manufacturability of Engineering Products. *STANKOINSTRUMENT*. 2019;2(015):14–23. https://doi.org/10.22184/2499-9407.2019.15.02.14.22 (In Russ.).

6. Bazrov BM, Troitskii AA. Sistema koehffitsientov proizvodstvennoi tekhnologichnosti konstruktsii izdeliya. *STIN*. 2020;3:22–26. (In Russ.).

7. Bokova LG, Bochkarev PYu. Development of Indicators for Assessment of Parts Operability in the System of Planning of Engineering Mechanical Processing. *Frontier Materials and Technologies*. 2015;1(3):29–35. https://doi.org/10.18323/2073-5073-2015-3-29-35

8. Mitin SG, Bochkarev PYu, Bokova LG. Avtomatizatsiya otsenki proizvodstvennoi tekhnologichnosti izdeliya v usloviyakh mnogonomenklaturnykh proizvodstvennykh sistem. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2014;9(39):45–48. (In Russ.).

9. Ivanov AA, Bochkarev PYu. Formalizing the Description and Methods for Optimization of Mechanical Treatment Technologies within the System of Planning Technological Processes. *Vestnik Saratov State Technical University*. 2015;3(80):76–85. URL: http://lib.sstu.ru/doc/ibo/vestniki/2015/3(80)_2015.pdf (accessed: 25.03.2023).

10. Rastegayev EV. Technological Effectiveness Assessment Indicators of a Product Design at Small-Lot and Medium-Batch Manufacturing. *Vestnik of P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University*. 2021;1:32–35.

Поступила в редакцию 09.04.2023
Поступила после рецензирования 05.05.2023
Принята к публикации 12.05.2023

Об авторах:

Петр Юрьевич Бочкарёв, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения и технической механики Камышинского технологического института (филиал) Волгоградского технического университета (403874, РФ., Волгоградская обл., г. Камышин, ул. Ленина, д. 6а), профессор кафедры технического обеспечения АПК Вавиловского университета (РФ, г. Саратов, Театральная пл., 1), ORCID, AuthorID, bpy@mail.ru

Рихард Джахангилович Королёв, инженер конструктор завода ООО ЭКС-ФОРМА (410512, РФ, г. Саратов, с. Березина речка, ул. Школьная, д. 13), ORCID, AuthorID, rihardkorolev@mail.ru

Лариса Геннадьевна Бокова, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Саратовского государственного технического университета им. Ю. А. Гагарина (410054, РФ, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77), ResearcherID, AuthorID, ORCID, bokovalg@mail.ru

Заявленный вклад:

П.Ю. Бочкарев — научное руководство, разработка методического подхода оценки влияния количественных показателей технологичности, анализ результатов исследований, доработка текста.

Р.Д. Королев — разработка моделей взаимосвязи показателей технологичности и затрат производственного времени, промышленная апробация и обработка результатов экспериментов, подготовка текста.

Л.Г. Бокова — определение состава и оценка показателей производственной технологичности.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 09.04.2023
Revised 05.05.2023
Accepted 12.05.2023

About the Authors:

Peter Yu. Bochkarev, Dr.Sci. (Eng.), Professor of the Mechanical Engineering Technology and Applied Mechanics Department, Kamyshin Technological Institute, VSTU branch (6 a, Lenina St., Kamyshin, Volgograd Region, 403805, RF), Professor of the AIC Engineering Support Department, Saratov State Vavilov Agrarian University (1, Teatralnaya sq., Saratov, 410012, RF), ORCID, AuthorID, bpy@mail.ru

Richard D. Korolev, Design Engineer, OOO PCF “Ex-Form” (13, Shkolnaya St., Berezina Rechka village, Saratov, 410512, RF), ORCID, AuthorID, rihardkorolev@mail.ru

Larisa G. Bokova, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Mechanical Engineering Department, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, RF), ResearcherID, ORCID, AuthorID, bokovalg@mail.ru

Claimed contributorship:

PYu Bochkarev: academic advising; development of a methodological approach to assessing the impact of quantitative indicators of manufacturability; analysis of the research results; revision of the text.

RD Korolev: development of models of the relationship between indicators of manufacturability and production time costs, industrial approbation and processing of experimental results; text preparation.

LG Bokova: determination of composition and calculation of indicators of production manufacturability.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.